



Snímače pro přesné měření teploty

Sensors for accurate temperature measurement

Filip Socha

Bakalářská práce

Ing. Libor Štěpanec, Ph.D.

Ostrava, 2021

Prohlášení studenta

Potvrzují tímto, odevzdání své digitální bakalářské práce. Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat panu Ing. Liborovi Štěpěncovi Ph.D. za jeho čas, ochotu, náměty a cenné rady týkající se mé bakalářské práce.

Abstrakt

V mé bakalářské práci jsem se zabýval měřením teploty.

V prvních kapitolách jsem analyzoval základní pojmy. Vymezil jsem pojem teploty a její rozdělení, vysvětlil jsem, co je to měření, a také popsal snímače s uvedením jejich základních požadavků a vlastností.

Následně jsem v práci rozebral způsoby měření teploty, tedy že teplotu můžeme měřit metodou přímou nebo metodou nepřímou, a dále uvedl popis jejich měřidel. V práci jsem se rovněž zaměřil na přesnější snímače a vylíčil jejich vlastnosti.

V poslední fázi své práce jsem provedl návrh procesorového systému Arduino a simulaci prostřednictvím programu Proteus, kde jsem pomocí snímače DS18B20 připojeného k desce Arduino Uno zobrazoval teplotu na displeji.

Klíčová slova

snímač, teplota, měření, měření teploty, přesné snímače

Abstract

In my bachelor thesis I dealt with temperature measurement.

In the first chapters, I analyzed the basic concepts. I defined the terms of temperature and its classification. I explained what measurement is, and I also described the sensors, with their basic requirements and properties.

Subsequently, in my bachelor thesis I analyzed the possible ways of measuring the temperature, i.e. that the temperature can be measured by direct method or the indirect method, and also listed a description of the gauges of each method. In my thesis, I also focused on more accurate sensors and I described its properties.

In the last phase of my bachelor thesis, I designed the Arduino processor system and I simulated it using the Proteus program, where I used the DS18B20 sensor connected to the Arduino Uno board to display the temperature on the display.

Key words

sensor, temperature, temperature measurement, accurate sensor

Obsah

Seznam obrázků	7
Seznam tabulek	8
1 Úvod	9
2 Co je to měření?	10
3 Teplota.....	11
3.1 Termodynamická teplota	11
3.2 Celsiova teplota	11
3.3 Fahrenheitova teplota	11
4 Snímač	12
4.1 Snímač teploty.....	12
4.1.1 Požadavky kladené na snímače	12
4.1.2 Vlastnosti snímačů.....	13
5 Snímače pro dotykové měření	14
5.1 Odporové kovové snímače	14
5.2 Polovodičové snímače teploty – termistory.....	14
5.2.1 Termistory PTC	14
5.2.2 Termistory NTC.....	15
5.3 Termočlánky	16
6 Snímače pro bezdotykové měření.....	19
6.1 Pyrometry	20
6.1.1 Monochromatické pyrometry	20
6.1.2 Pásmové pyrometry	21
6.1.3 Úhrnné pyrometry.....	21
6.2 Bolometry	22
6.3 Termografie a termokamery	23
7 Zvláštní způsoby měření teploty	25
7.1 Termokřídly	25
7.2 Žároměrky	25
7.3 Optovláknové snímače teploty.....	26
8 Srovnání snímačů teploty.....	28
8.1 Teplotní čidlo DS18B20 výrobce Maxim Integrated.....	28
8.2 Teplotní snímač STS3x výrobce Sensirion AG.....	28
8.3 Teplotní snímač LMT88 výrobce Texas Instruments	30
8.4 Teplotní snímač LMT70 od výrobce Texas Instruments	30

9	Návrh propojení snímače s Arduinem.....	32
9.1	Arduino UNO	32
9.2	Proteus Design Suit	33
9.3	Realizace simulace.....	34
10	Závěr	39
	Použitá literatura:.....	40

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Odporový snímač teploty [6].....	14
Obrázek 2 - PTC termistor B59975 firmy EPCOS [8].....	15
Obrázek 3 – všeobecná technická data PTC termistoru B599*5.....	15
Obrázek 4 – NTC termistor B57153S0479M000 firmy EPCOS [9]	15
Obrázek 5 – Všeobecná technická data PTC termistoru B57153S0479M000.....	16
Obrázek 6 – Porovnání závislosti elektrického odporu na teplotě kovových odporových snímačů teploty Pt, Ni a termistoru NTC [7].....	16
Obrázek 7 – Zapojení termočlánku [31]	17
Obrázek 9 – Provedení termočlánků A) bodový B) plošný C) kombinovaný D) víceúčelový [13]	18
Obrázek 10 – Bezdotykové měření teploty schéma [14]	19
Obrázek 11 – Kalibrace bezdotykových teploměrů [10]	20
Obrázek 12 – Schéma radiačního pyrometru s termočláňkovým čidlem [18]	22
Obrázek 13 – Schéma bolometrů	22
Obrázek 14 – Termovize tradičního domu v pozadí a pasivního domu v popředí	23
Obrázek 15 – Termokamera HT-02D	24
Obrázek 16 – Termokřída Tempindic [21].....	25
Obrázek 17 – Žároměrka [22]	26
Obrázek 18 – Teplotní čidlo Dallas DS18B20.....	28
Obrázek 19 – Teplotní snímač STS3x [24]	29
Obrázek 20 – Přesnost teploty snímače STS35 [24]	29
Obrázek 21 – Snímač teploty LMT88 [28]	30
Obrázek 22 – Snímač teploty LMT70 [25]	31
Obrázek 23 – Arduino UNO [29].....	33
Obrázek 24 – Ukázka simulačního prostředí Proteus.....	34
Obrázek 25 – Schéma zapojení v prostředí Protea	35
Obrázek 26 – Zobrazení teploty na displeji	38
Obrázek 27 – Ukázka měřených hodnot na sériovém monitoru Arduino IDE	38

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Typy termočlánku [11]	17
Tabulka 2 – Srovnání vlastností snímačů teploty	31

1 Úvod

V dnešní době je teplota důležitým parametrem téměř ve všech odvětvích lidské činnosti, jako je například automobilový průmysl, lékařství či zemědělství, a své využití nalézá pochopitelně také v domácnostech.

Měření teploty se provádí v různých podmínkách, protože potřebujeme různé druhy měřidel, ať už jde o měření teploty například v kapalině, ve výbušném prostředí, nebo měření teploty na lidském těle.

Teplotu můžeme měřit dvěma způsoby, a sice metodou přímou, při níž se měřidlo dotýká přímo měřeného předmětu, anebo metodou nepřímou, v rámci níž je měřený předmět vzdálen od měřidla. Pro měření teploty můžeme rovněž použít speciální měřidla.

Na snímače teploty jsou v současné době kladeny velké nároky, a to zejména z hlediska jejich přesnosti, proto se výrobci snaží dostat na trh co nepřesnější snímač teploty, a to ať už s analogovým, nebo digitálním výstupním signálem.

2 Co je to měření?

Měření je kvantitativní (číselné) zkoumání geometrických, fyzikálních a dalších vlastností předmětů (tj. jevů, procesů), obvykle pro porovnání s obecně přijatou jednotkou. Výsledkem měření je tedy číslo, které vyjadřuje poměr zkoumané veličiny k jednotce, spolu s uvedením té jednotky.

Význam měření spočívá hlavně v tom, že

1. charakterizuje měřenou veličinu mnohem přesněji než kvalitativní údaje (např. dlouhý, teplý, těžký),
2. měření lze opakovat a výsledky porovnávat, a
3. výsledek lze zpracovávat matematickými prostředky, zejména ve vědách.

Metody měření můžeme rozdělit do dvou skupin, a to na

1. metoda přímá – u této metody zjistíme hodnotu měření přímo odečtením ze stupnice použitého měřidla, např. měření teploty, měření délky nebo měření odporu vodiče, a
2. metoda nepřímá – pomocí této metody zjistíme hodnotu pomocí nějakého fyzikálního vzorce a z hodnot jiných veličin. [1]

3 Teplota

Teplota je stavová veličina charakterizující termodynamický stav jakékoliv makroskopické soustavy.

Z nultého termodynamického principu plyne, že každému rovnovážnému stavu soustavy lze přiřadit určitou hodnotu teploty, která je v každém místě dané homogenní soustavy stejná, a dále, že tato hodnota je stejná pro všechny soustavy, které jsou navzájem v termodynamické rovnováze s danou soustavou.

Nejrůznější stavové veličiny závisí na teplotě, tj. mění se při její změně. Proto může být k definici teploty a k jejímu měření použita, obecně vzato, kterákoliv z těchto závislostí, a to tak, že se předepíše její tvar u zvolené látky za přesně stanovených podmínek (viz třeba teploměr a jeho stupnice). Taková definice teploty je však založená na vlastnostech dané látky, tzv. teploměrné látky, popř. skupiny látek. Navíc je možná jen pro jistý omezený teplotní interval.

Nezávisle na vlastnostech vybraných látek je definována termodynamická teplota, která je od roku 1960 také jednou ze základních fyzikálních veličin Mezinárodní soustavy jednotek (SI). [2]

3.1 Termodynamická teplota

Termodynamická teplota se značí písmenkem K a její jednotka je Kelvin. Kelvin se tedy musí rovnat $1/273,16$ termodynamické teploty trojného bodu vody. V praxi se ale používá vedlejší stupnice Celsiovy.

3.2 Celsiova teplota

V praxi používanější stupnice Celsiova se značí malým t a je definovaná vztahem:

$$t = T - T_0$$

kde T ...je termodynamická teplota

T_0 ..je definována jako $0,01\text{ K}$ pod termodynamickou teplotou trojného bodu vody což znamená že se rovna přesně $273,15\text{ K}$

3.3 Fahrenheitova teplota

Fahrenheitova teplota je jednou z dalších jednotek teploty, značí se $^{\circ}\text{F}$ a běžně se dnes využívá třeba v USA a také ve Velké Británii.

4 Snímač

Snímač obecně znamená označení pro technické zařízení, které je určeno pro snímání a detekci různých fyzikálních veličin, vlastností látek a technických stavů v mnoha oborech lidské činnosti.

V praxi se může jednat například o:

- snímače polohy,
- snímače pohybu,
- snímače teploty,
- snímače posunutí,
- hladinový snímač,
- otřesový snímač, nebo
- snímač otisku prstu. [3]

4.1 Snímač teploty

Snímač teploty je technické čidlo se zabudovaným teploměrem, který snímá teplotu v nějakém významném bodě a naměřené hodnoty odesílá do řídicí jednotky. Často slouží jako bezpečnostní prvek kontrolující správnou funkci systému (zabezpečuje systém proti přehřátí). [4]

Na snímače jsou také kladeny určité požadavky, a každý snímač má také své specifické vlastnosti, které nicméně posuzujeme u všech snímačů.

Snímače teploty můžeme rozdělit na dvě skupiny, a to na snímače pro dotykové měření, a snímače pro bezdotykové měření.

4.1.1 Požadavky kladené na snímače

- Základními požadavky jsou
 - bezpečnost provozu,
 - dlouhá životnost, a
 - provozní spolehlivost.
- Dalšími požadavky jsou
 - jednoznačná závislost výstupní veličiny na vstupní veličině,
 - přesnost snímače,
 - reprodukovatelnost výsledků,
 - časová nezávislost parametru snímače,
 - vhodný tvar statické charakteristiky, nejlépe lineární s velkou strmostí a minimálním prahem citlivosti,
 - optimální dynamické parametry (časová konstanta, tvar frekvenční charakteristiky, šířka přenášeného frekvenčního pásma),
 - minimální závislost na parazitních vlivech (tlak, vlhkost, chvění),
 - minimální signálové zatěžování měřeného objektu, a
 - jednoduchá konstrukce a z toho plynoucí snadná údržba a dostupná cena.
- Na dnešní inteligentní snímače pak klademe ještě další požadavky, a sice
 - programovatelné zesílení,
 - filtrace a normalizace měřeného signálu,
 - možnost automatické korekce vlivu parazitních veličin,
 - možnost automatického potlačení šumu naměřených hodnot,
 - automatická kalibrace,
 - hlídání mezí, a

- možnost přímého zapojení snímače pomocí vhodné (nejlépe digitální) komunikační sběrnice.

4.1.2 Vlastnosti snímačů

Mezi vlastnosti snímačů řadíme

- třídu přesnosti – udává, o kolik procent může být zobrazovaná hodnota odlišná (větší či menší) od hodnoty skutečné,
- rozlišovací schopnost – udává spolehlivě rozlišitelný přírůstek, jinak řečeno udává, o kolik se musí změnit měřená veličina, aby se rozpoznatelně změnila veličina výstupní,
- životnost – je definována jako doba (popř. počet měření), po kterou jsou parametry a vlastnosti snímače v uváděných tolerancích,
- šum – vzniká změnou vlastností, nebo parametrů snímače vlivem mechanických, chemických, tepelných i elektrických efektů (nečistoty, mastnoty, vlhkost, teploty, chvění, tlak, deformace), a
- linearitu – udává největší odchylku skutečné charakteristiky od vztažné (ideální) přímky a uvádí se v procentech.

5 Snímače pro dotykové měření

Jedná se o poměrně levné měření. Význam dotykového snímače spočívá v tom, že snímač je v přímém kontaktu s měřeným předmětem, nebo v jeho blízkosti.

Pro dotykové měření se využívají odporové kovové snímače, polovodičové snímače teploty – termistory a termočlánky.

5.1 Odporové kovové snímače

U odporových kovových snímačů se využívá závislosti odporu kovů na teplotě. Závislostní rozsah je v rozsahu teplot od 0 °C až po 100 °C a dá se vyjádřit pomocí vztahu:

$$R = R_0(1 + \alpha\theta)$$

kde R_0 je odpor při teplotě 0 °C
 αje teplotní součinitel odporu

Hlavními výhodami odporových snímačů jsou

- kompaktní rozměry a příznivá cena,
- vhodnost pro širokou škálu použití (venkovní a vnitřní prostředí, průmyslové prostředí atd.),
- vysoká rychlost odezvy, a
- stabilita měření.

Pro kovové senzory teploty se většinou využívá platina pro její chemickou netečnost, časovou stálost, vysokou teplotu tavení a také pro možnost dosažení vysoké čistoty (pohybuje se v rozmezí 99,9 až 99,999 %). Kromě platiny se můžete setkat též s niklem, mědí, molybdenem nebo některými slitinami. [5]



Obrázek 1 – Odporový snímač teploty [6]

5.2 Polovodičové snímače teploty – termistory

Termistor je elektrická součástka, jejíž elektrický odpor je silně závislý na teplotě. Ve srovnání s kovovými snímači teploty (Pt, Ni, Cu) je teplotní koeficient odporu několikanásobně vyšší a závislost elektrického odporu na teplotě výrazně nelineární.

Z hlediska průběhu závislosti elektrického odporu na teplotě jsou termistory děleny na termistory PTC a NTC. [7]

5.2.1 Termistory PTC

Označované často jako pozistory se vyznačují velmi strmou kladnou závislostí elektrického odporu na teplotě v určitém teplotním intervalu, přičemž křivka závislosti v celém teplotním rozsahu může mít jeden až tři inflexní body.

Vzhledem k těmto specifickým vlastnostem jsou pozistory využívány jako přímé teplotní spínače zamezující přetížení např. elektromotorů. Zde bývají sériově zapojeny a rovnoměrně umístěny ve vinutí rotoru tři pozistory. [7]



Obrázek 2 - PTC termistor B59975 firmy EPCOS [8]

Max. operating voltage	($T_A = 60\text{ °C}$)	V_{\max}	30	V DC or V AC
Rated voltage		V_R	12, 24	V DC or V AC
Switching cycles		N	100	
Reference temperature	(typ.)	T_{ref}	120	°C
Tolerance of R_R		ΔR_R	±25	%
Operating temperature range	($V = 0$)	T_{op}	−40/+125	°C
Operating temperature range	($V = V_{\max}$)	T_{op}	−40/+85	°C

Obrázek 3 – všeobecná technická data PTC termistoru B599*5

5.2.2 Termistory NTC

Zřídka označované jako negastory se vyznačují zápornou závislostí elektrického odporu na teplotě a zejména vzhledem k příznivé ceně nacházejí uplatnění v mnoha jednoduchých zařízeních, kde není třeba měřit teplotu s přesností na desetiny či půl stupně. [7]



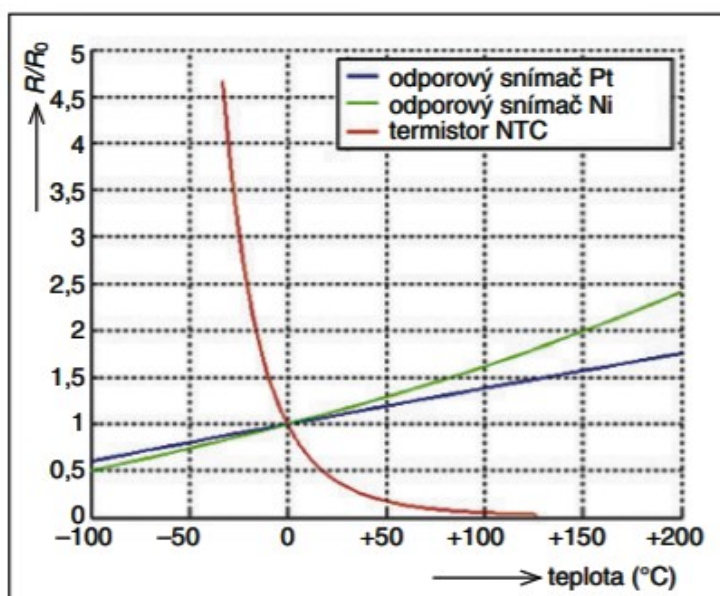
Obrázek 4 – NTC termistor B57153S0479M000 firmy EPCOS [9]

Climatic category	(IEC 60068-1)		55/170/21	
Max. power	(at 25 °C)	P_{max}	1.4	W
Resistance tolerance		$\Delta R_R/R_R$	± 20	%
Rated temperature		T_R	25	°C
Dissipation factor	(in air)	δ_{th}	approx. 8	mW/K
Thermal cooling time constant	(in air)	τ_c	approx. 30	s
Heat capacity		C_{th}	approx. 240	mJ/K

Obrázek 5 – Všeobecná technická data PTC termistoru B57153S0479M000

Vlastnostmi termistoru jsou

- obvyklý teplotní rozsah -50 až $+150$ °C,
- malá hmotnost a rozměry – malá časová konstanta,
- záporný teplotní součinitel odporu,
- značná nelinearita,
- vysoká hodnota odporu v konkrétním teplotním intervalu – vysoká citlivost,
- časová nestabilita, a
- nízká cena.



Obrázek 6 – Porovnání závislosti elektrického odporu na teplotě kovových odporových snímačů teploty Pt, Ni a termistoru NTC [7]

5.3 Termočláanky

Termočlánek je zdroj elektrického napětí, používaný především jako čidlo teploty. Termočlánek využívá k měření teploty termoelektrický jev. Může být případně používán také jako spolehlivý zdroj elektrického proudu, ale jeho energetická účinnost a výkon jsou malé. Termočlánek je tedy snímač pro měření teploty sestávající ze dvou různorodých kovů spojených do jednoho bodu. [10]

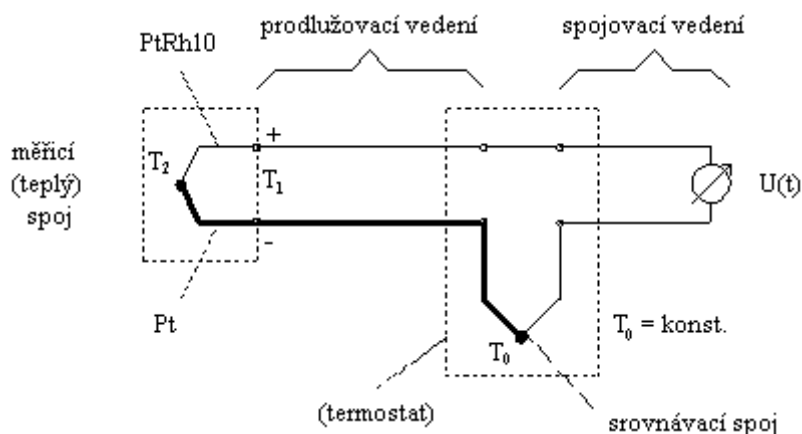
Když je tento spoj dvou kovů zahříván nebo chlazen, vzniká napětí úměrné k teplotě (tzv. Seebeckův jev). Termočlánkové slitiny jsou dodávány jako dráty. Pro správnou funkci snímače je nutné, aby teplota srovnávacího spoje byla konstantní a $t_1 > t_2$, nebo aby vliv termoelektrického napětí tohoto spoje byl kompenzován.

Seebeckův jev je přeměna teplotních rozdílů přímo na elektrické napětí. Je to vznik napětí, který nastává při teplotních rozdílech mezi dvěma rozdílnými kovy nebo polovodiči. To způsobuje nepřetržité proudění elektronů, pokud vodiče vytvoří uzavřený obvod. Vzniklé napětí je v řádu několika mikrovoltů na stupeň Celsia. [10]

Platí vzorec:

$$U = \int_{T_1}^{T_2} (S_B(T) - S_A(T)) dt$$

kde S_A a S_B jsou Seebeckovy koeficienty kovů
 T_1 a T_2 jsou teploty na opačných koncích termočlánku



Obrázek 7 – Zapojení termočlánku [31]

Výhodou termočlánku je možnost pracovat ve velmi širokém rozmezí měřených teplot, a to až do 2800 °C, za předpokladu použití speciálních slitin. Termočlánky se rovněž vyznačují velkou přesností. Např. termočlánek Pt-Pt + 10 % rhodia je používán jako kalibrační teploměr pro rozsah teplot 630,5 až 1063 °C. Další výhodou je nízká tepelná kapacita čidel. [11]

Zásadní nevýhodou této metody je nutnost pro případy přesných měření použít referenční prostředí s velmi přesně udržovanou teplotou. Nepoužijeme-li teplotní kompenzaci termočlánku, kolísá údaj na svorkách měřidla podle teploty okolí. Je to způsobeno tím, že na svorkách také vzniká termoelektrické napětí. [11]

Pro přesná měření je tedy nutno termočlánek kompenzovat. Prakticky se kompenzace provádí tak, že zapojíme dva termočlánky do série tak, aby se jejich napětí odečítala. Jeden termočlánek je měřicí a druhý referenční. Díky tomu je na obě svorky měřidla přiveden stejný kov, takže nevzniká nežádoucí svorkové napětí závislé na teplotě. Při laboratorních měřeních se referenční termočlánek udržuje na teplotě 0 °C v termosce s ledovou tříští a destilovanou vodou. V případě průmyslových měření byl referenční termočlánek temperován na teplotě vyšší než teplota okolí – např. na 50 °C (obr. 8). Takto je možno jedním termostatem kompenzovat několik termočlánků. [11]

Tabulka 1 – Typy termočlánku [11]

Typ termočlánku	Měřicí rozsah [°C]
T (Cu - CuNi)	- 200 až 400
J (Fe - CuNi)	-200 až 760
E (NiCr - CuNi)	- 100 až 700 (900)
K (NiCr - NiAl)	- 200 až 1000 (1300)
S (PtRh10 - Pt)	0 až 1300 (1600)
R (PtRh13 - Pt)	0 až 1300 (1600)
B (PtRh36 - PtRh6)	300 až 1600 (1800)
A (WRe5 - WRe20)	0 až 2500
N (nicrosil - nisil)	- 270 až 1370

Jednou z nejdůležitějších věcí, která má zásadní vliv na vlastnosti, a tím i na použití termočládku, je provedení měřicího konce. Spojení měřicího konce se provádí mechanickým spojením, pájením, anebo svařením daných drátů. [13]

Nejpoužívanějším typem je bodový termočlánek, jehož průměr hrotu je velmi malý. Tento typ termočládku se používá pro měření teploty malých objektů. Bodový termočlánek má velmi vysokou přesnost, ale jeho nevýhodou je mechanická stabilita.

Dalším typem provedení termočládku je plošný termočlánek. Tento typ termočládku má oproti bodovému termočládku vyšší mechanickou odolnost a má celkem malou časovou konstantu.

Třetím typem provedení termočládku je kombinace výše uvedených typů, přičemž tímto spojením vznikne kombinovaný termočlánek. Spojením těchto dvou typů termočládku je výhoda velmi nízké časové konstanty a velmi dobrá mechanická odolnost.

Čtvrtým a posledním typem je víceúčelový termočlánek. Tento typ je velmi robustní a používá se hlavně pro měření extrémně rychlých změn měřených teplot.



Obrázek 8 – Provedení termočládků A) bodový B) plošný C) kombinovaný D) víceúčelový [13]

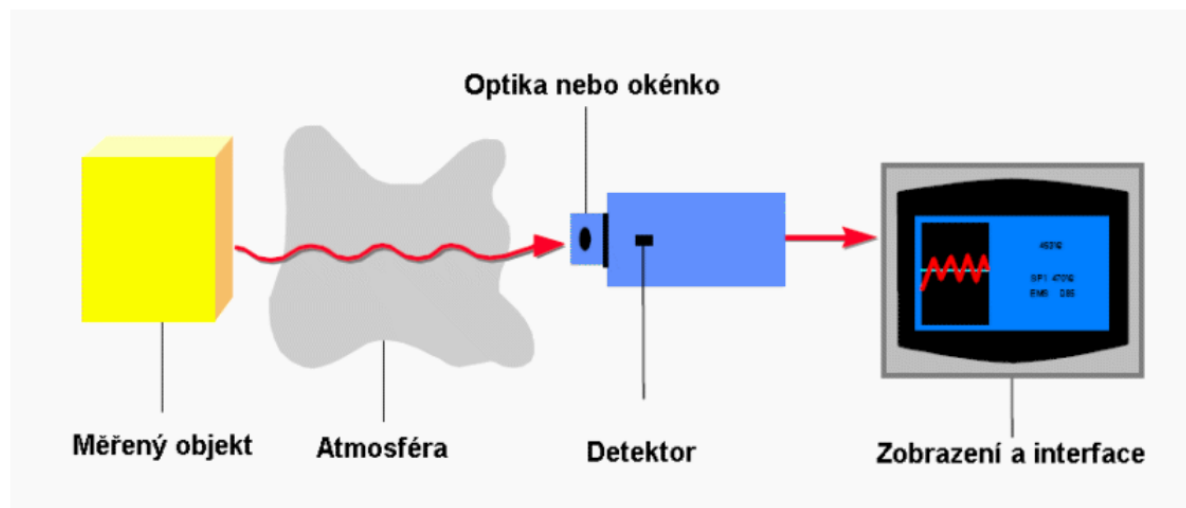
Druhy termočládku jsou

- drátové termočládky svařované do kuličky,
- termočládkové sondy,
- sondy pro měření teploty povrchů,
- tyčové termočládky,
- plášťové termočládky,
- vpichové termočládky, a
- závitové termočládky.

6 Snímače pro bezdotykové měření

Přístroje pro bezdotykové měření teploty nacházely původně uplatnění v takových provozech a aplikacích, kde bylo třeba měřit vysoké teploty (obvykle nad 500 °C) a nebylo možno použít dotykový teploměr. Jednalo se zejména o aplikace v metalurgii, chemickém a zejména silikátovém průmyslu (sklářství, cementárny, vápenky, keramický průmysl). V průběhu posledních let se aplikace bezdotykových teploměrů posunula k výrazně nižším teplotám, včetně měření teplot nižších než 0 °C. Nyní se s bezdotykovými teploměry setkáváme v potravinářství, elektronice, průmyslu papírenském, farmaceutickém, při zpracování plastických hmot apod. [10]

Přenosné bezdotykové teploměry nacházejí široké uplatnění při detekci tepelných ztrát a poruch, při kontrole potrubních systémů, nádrží apod. K měření rozložení teploty na povrchu objektů a k diagnostickým účelům se stále častěji využívají termokamery (tj. termovizní kamery), které patří k nejmodernější termodiagnostické technice. Při bezdotykovém měření teploty se využívá zejména vyzařování infračerveného záření z měřeného objektu. Toto záření je optickým systémem soustředěno na vhodný detektor, jehož elektrický signál je dále zpracován v elektronických obvodech a výstupem je pak údaj na displeji nebo termogram na monitoru vyhodnocovacího zařízení. [10]



Obrázek 9 – Bezdotykové měření teploty schéma [14]

Mezi výhody bezdotykového měření patří

- rychlost měření,
- možnost měření i objektu, které se pohybují,
- snadné měření teploty na obtížně dostupných místech,
- bezproblémové měření velmi vysokých teplot,
- skutečnost, že nedochází k ovlivnění měřeného objektu, a
- to, že měření probíhá bez rizika kontaminace a mechanických účinků na povrch měřeného objektu.

Naopak k nevýhodám bezdotykového měření patří to, že

- měřený objekt musí být pro teploměr opticky viditelný,
- pevné překážky dovolují pouze povrchové měření (ne vnitřní teplotu),
- je nutné chránit čidla před prachem a kondenzujícími kapalinami,
- měří se pouze povrchová teplota materiálů a je nutné brát v úvahu jejich emisivitu.

Kalibrace bezdotykových teploměrů

Bezdotykové teploměry je nutno pravidelně kalibrovat a k tomu se velmi často používá černého tělesa. Základem kalibrátorů s černým tělesem je obvykle válcová dutina vyrobená z kovového materiálu, povrchově upravena černou barvou. Emisivita povrchu dna dutiny je známa a pohybuje se v rozmezí 0,98 až 0,99. Teplota dna válcové dutiny je udržována na požadované hodnotě pomocí vhodného regulátoru teploty.

Při kalibraci se bezdotykový teploměr zaměří na plochu dna již zmiňované válcové dutiny a nastane kalibrace. [10]



Obrázek 10 – Kalibrace bezdotykových teploměrů [10]

6.1 Pyrometry

Pyrometry jsou bezdotykové teploměry, které určují teplotu měřeného tělesa z teplotního záření. Měří se jimi převážně teploty v rozsahu $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+3500\text{ }^{\circ}\text{C}$. [15]

Podle způsobu detekce záření se pyrometry dělí na

- subjektivní – detektorem záření je lidské oko (jasové a barvové pyrometry), a
- objektivní – záření je detekováno selektivními nebo neselektivními detektory záření.

Podle využití spektrální oblasti záření se pyrometry dělí na

- monochromatické – pracují se zářením jedné nebo dvou vlnových délek,
- pásmové – pracují se zářením s širším pásmu vlnových délek, a
- úhrnné – pracují se zářením v celém pásmu vlnových délek.

6.1.1 Monochromatické pyrometry

Monochromatické pyrometry se někdy označují jako úzkopásmové teploměry. Jsou velmi podobné jasovým pyrometrům s tím rozdílem, že záření je vyhodnoceno elektronickým detektorem. Tyto pyrometry měří ve velmi úzké oblasti vlnových délek. Oblast vlnových délek, ve kterých monochromatický teploměr pracuje, je závislá na spektrální propustnosti použitého filtru, dále na spektrální propustnosti dané optiky, a také na spektrální citlivosti čidla – detektoru.

Monochromatické pyrometry pro kratší vlnové délky se používají pro měření vyšších teplot nad $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ (maximum je $3500\text{ }^{\circ}\text{C}$). Delší vlnové délky se používají pro nižší teploty od $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dnes jsou monochromatické pyrometry využívány méně, právě protože měří pouze v úzkém rozsahu vlnových délek. [16]

6.1.2 Pásmové pyrometry

Pásmové pyrometry pracují na podobném principu jako radiační pyrometr. Mezi pásmové pyrometry se řadí většina dnes prodávaných pyrometrů na trhu. Tyto pyrometry využívají jen část spektra tepelného záření, které vymezuje použitá optika, filtr a detektor. Jako detektory se používají fotonky, fotoodpory, fotodiody a fotočlánky.

Výhodami těchto fotoelektrických detektorů jsou velmi rychlá reakce na změnu teploty a možnosti měření teploty i malých předmětů. Jejich použití je omezeno na spektrální citlivosti, jako např. [17]

- 0,6 – 1,8 μm – křemíkový fotočlánek,
- 0,5 – 3,6 μm – PbS fotoodpor, nebo
- 0,4 – 1,8 μm – germaniové fotodiody.

Tyto pyrometry jsou kalibrovány na teplotu absolutně černého tělesa, proto musíme brát na vědomí skutečnou hodnotu emisivity měřeného tělesa podle vztahu:

$$T_s = \frac{T_p \cdot c_2}{c_2 + \lambda T_p \cdot \ln \varepsilon}$$

kde T_s je skutečná teplota [K]
 T_p je teplota udaná pyrometrem [K]
 c_2 je druhá vyzařovací konstanta
 λ je vlnová délka [m]
 ε je emisivita materiálu [-]

6.1.3 Úhrnné pyrometry

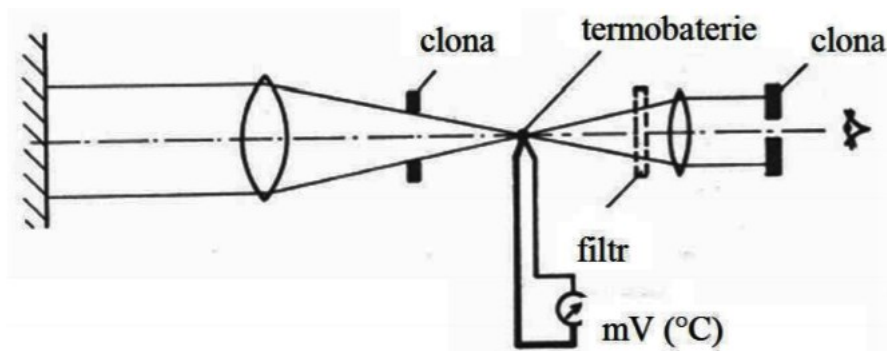
Úhrnný pyrometr, též zvaný radiační, využívá Stefan-Boltzmanův zákon. Úhrnné pyrometry pracují s vlnovými délkami od (0,4 až 2,5) μm až do 20 μm . Tento typ pyrometru je nejvíce vhodný pro měření teplot těles, které se nejvíce svými vlastnostmi blíží vlastnostem černého tělesa. Rozsah teplot těchto pyrometrů je od -40 °C až do +500 °C.

Záření vysílané měřeným předmětem je optickou soustavou soustředěno do ohniska objektivu, kde dopadá na termočlánek nebo bolometr. Tyto prvky pak udávají měřenou teplotu, která je ke skutečné teplotě vázána emisním součinitelem: [18]

$$T_s = \frac{T_p}{\varepsilon} \text{ [K]}$$

kde T_s je skutečná teplota [K]
 T_p je naměřená teplota [K]
 ε je emisní součinitel

Atributy těchto pyrometrů jsou určovány typem snímacího elementu a druhem použitého optického systému. Pro měření se často využívá sériové zapojení termočlánku tvořících tzv. termobaterii, tohle zapojení dodává vyšší napětí než jeden samostatný termočlánek.



Obrázek 11 – Schéma radičního pyrometru s termočlánkovým čidlem [18]

6.2 Bolometry

Bolometry jsou senzory pro bezdotykové měření teploty pracující na principu pyrometru, tzn. Jde o měření celkového vyzářeného tepelného výkonu prostřednictvím infračerveného záření. Tvoří tak alternativu k ostatním sensorům pro bezdotykové měření teploty, infratermočlánkům, pyroelektrickým sensorům a fotonovým snímačům.

Častěji se však bolometry vyskytují v podobě integrovaných obvodů obsahující uspořádání několika desítek, stovek nebo i tisíců bolometrů do matice, obecně označované jako mikrobolometry.

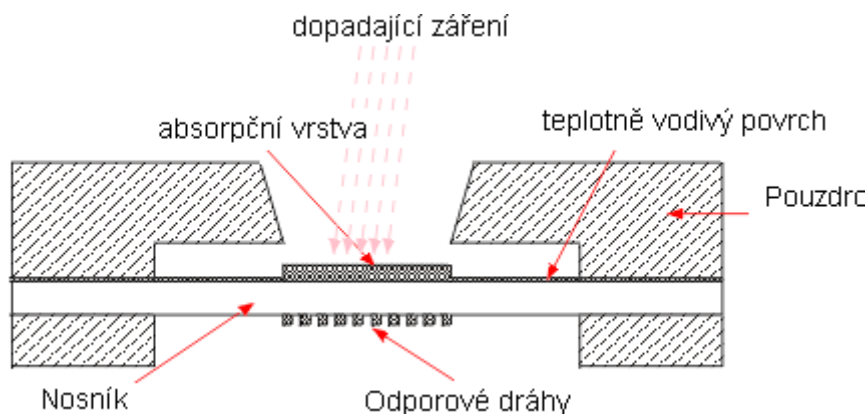
Využívají se nejčastěji pro potřeby termovize, tzn. infračerveného snímání obrazu předmětu s následnou možností měření nebo detekce jejich teploty. [20]

K vlastnostem bolometrů náleží

- to, že jsou celkem rychlé – časová konstanta až 1 ms,
- velký pracovní teplotní rozsah senzoru (-40 °C až +100 °C),
- jejich malé rozměry,
- vysoká cena,
- žádné ovlivnění měřeného objektu, a
- skutečnost, že u některých typů je potřeba chlazení.

Použitím bolometrů se má na mysli

- detekce ohně a plamenu,
- detekce výbuchu,
- bezdotykové měření teploty,
- měření teploty pohyblivých objektů, a
- infračervené kamery a dalekohledy.



Obrázek 12 – Schéma bolometrů

6.3 Termografie a termokamery

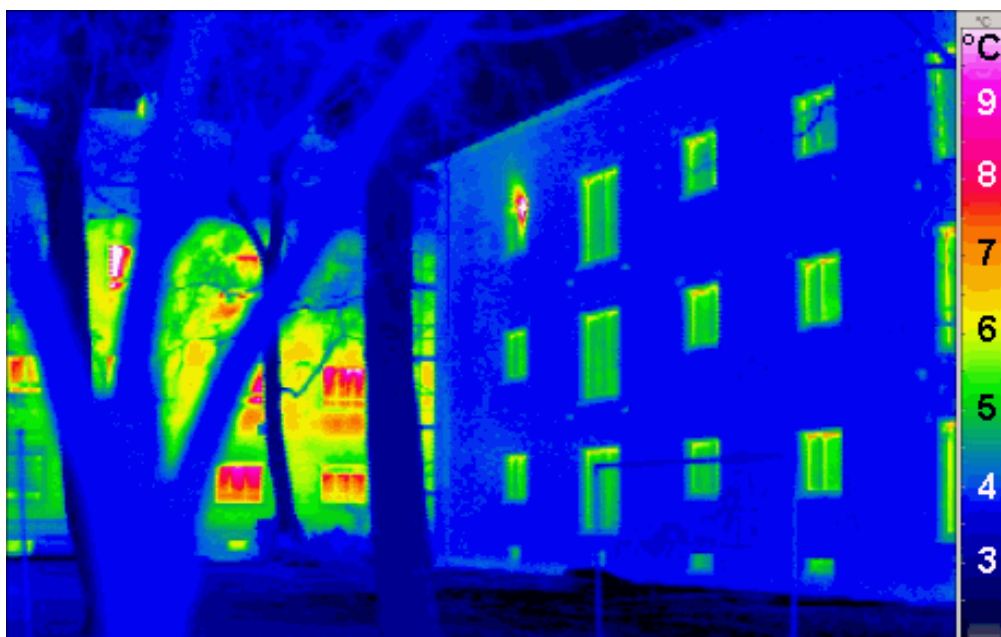
Infračervená termografie je vědním oborem, který se zabývá analýzou rozložení teplotního pole na povrchu tělesa, a to bezkontaktním způsobem. Úkolem termografie je analýza infračervené energie vyzařované tělesem. Termografickým měřicím systémem lze zobrazit teplotní pole měřeného objektu, ale pouze na jeho povrchu. Obor termografie se v širším měřítku rozvinul společně s rozšířením infračervených kamer, pro které se obecně vžil název prvního výrobce infračervených kamer, firmy Thermovision. [19]

Termokamery umožňují zobrazit infračervené záření tělesa tak, aby jej bylo možné vidět. Výstupem z termovizní kamery je infračervený snímek, odborně termogram, resp. termovizní snímek. Radiometrické termokamery pak uživateli umožní určit teplotu v jednotlivých bodech termogramu.

Určení teploty však není snadné, protože závisí na několika parametrech. Jeden z hlavních parametrů je emisivita tělesa. Ideálně černé těleso má emisivitu 1, lesklá tělesa mají emisivitu velmi malou (až 0,1). Malá emisivita tělesa většinou znamená menší přesnost měření. Do měřeného zářivého toku tělesa totiž může značným způsobem vstoupit zdánlivá odražená teplota, která ovlivňuje naměřený výsledek. [19]

Příklady využití termografie jsou

- hledání úniků tepla z budov,
- sledování elektrických vedení a jejich poškození,
- detekce přehřívání strojů a závad snižujících životnost zařízení (např. elektromotory),
- kontrola zatížení motorů, ložisek nebo brzd, nebo
- neinvazivní detekce zánětu pod kůží.



Obrázek 13 – Termovize tradičního domu v pozadí a pasivního domu v popředí [19]



Obrázek 14 – Termokamera HT-02D

7 Zvláštní způsoby měření teploty

7.1 Termokřídý

Principem u tohoto měření teploty je změna skupenství. Termokřídý jsou určeny pro praktické a rychlé měření teploty povrchu měřeného objektu.

Na termokřídách je uveden údaj o teplotě, pro kterou jsou křídý určeny. Jednou křídou můžeme uskutečnit až 2000 měření. Používají se pro měření teplot například u svařování nebo u pájení kovů. Mezi hlavní přednosti tohoto způsobu měření teplot patří rychlost a jednoduchost měření. Přesnost měření tímto způsobem je 1 % z udané teploty na termokřídě.

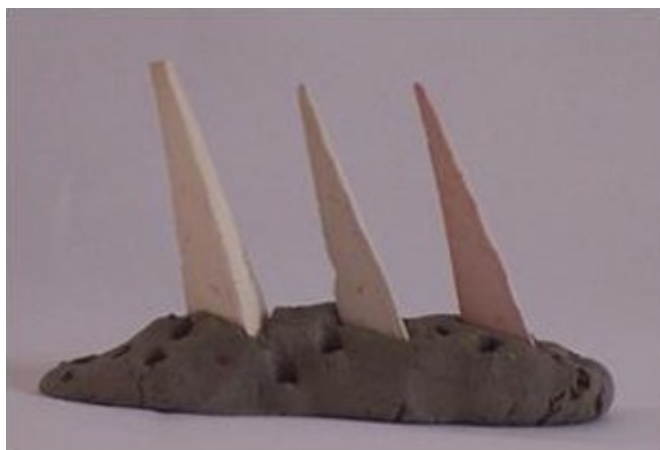


Obrázek 15 – Termokřídý Tempindic [21]

7.2 Žároměrky

Keramické žároměrky jsou tělíska ve tvaru kolmého trojbokého jehlanu stanovených rozměrů, sloužící jako jednorázové indikátory teplotních procesů v keramických pecích. Jsou vyrobeny z keramických materiálů.

Mají tu vlastnost, že při dosažení indikované teploty měknou a ohýbají se přes hranu protilehlou k označené straně jehlanu. Jsou určeny pro vypalovací teploty od +660 °C až do +1710 °C. Tolerance u tohoto způsobu měření je 5 °C. [22]



Obrázek 16 – Žároměrka [22]

7.3 Optovláknové snímače teploty

V praxi existují případy, kdy nelze pro měření teploty použít "standardní metody", jako např. měření ve výbušných a snadno vznětlivých prostředích elektráren. Pak přichází na řadu optika – optovláknové senzory teploty, jejichž princip je založen na změně šíření světla vláknem nebo jeho odrazu na konci vlákna. [23]

V praxi existuje několik druhů aplikací vyžadujících měření teploty, kde neprakticky nebo z legislativních důvodů nelze použít obvykle používané senzory teploty pracující na principu převodu teploty na změnu elektrické veličiny (napětí, proud), jako jsou například odporové senzory teploty (termistor, Pt100, Ni1000), termočlánky nebo polovodičové senzory s PN přechodem. Pokud to podmínky a vyžadované parametry měření dovolují, mohou se nasadit bezkontaktní snímače teploty, které umožňují měřit teplotu vzdáleně, mimo nebezpečnou oblast. Takové senzory nicméně potřebují opticky průchozí prostředí s přímou viditelností na měřený objekt, a navíc měří teplotu jen na povrchu objektu, a ne například v jeho nitru. Tedy pro tyto aplikace, kde nelze využít ani jednu z výše uvedených typů teploměrů, se může využít optovláknových senzorů teploty. [23]

Optovláknové senzory teploty využívají, jak název napovídá, světla, a jeho šíření v optických vláknech. V obecném pohledu jde v tomto případě vlastně o kombinaci obou "klasických" principů. Využívá se k měření teploty světlo, které je bezpečné pro použití v nebezpečných prostorách, a navíc je konkrétně vymezena jeho oblast působení a jeho vedení prostřednictvím optického kabelu. V tomto směru existuje několik využívaných principů založených buď na změně odrazu světla s teplotou na konci optického vlákna, nebo změně vlastností šíření světla určitým úsekem samotného optického kabelu. [23]

Použitím optovláknových snímačů je např.

- měření teploty v jakýchkoliv nebezpečných prostředích – např. atomová elektrárna,
- měření teploty ve výbušných a vznětlivých prostředích – např. uhelné elektrárny a teplárny,
- plošné měření teploty uhlí – ochrana proti samovznícení,
- měření teploty v prostředí se zemním plynem,
- měření na velké vzdálenosti od vyhodnocovací elektroniky stovky metrů až kilometry,
- monitorování teploty mechanických částí strojů – např. u letadel,
- měření teploty proudových motorů, nebo
- měření teploty při indukčním ohřevu.

Princip činnosti

Základním principem uvedených senzorů je změna některé z vlastností světla, vysílaného zdrojem záření do optického vlákna, vlivem působící změny teploty v měřeném místě. Měněna může

být amplituda světla, jeho fáze, vlnová délka, a tím i spektrum světla, nebo časové zpoždění vysílaných impulsů. [23]

Způsoby změny vysílaného světla jsou

- přímá změna parametrů optického vlákna vlivem změny teploty – využívá se zde jinak parazitních vlastností vláken, jako např. disperze, optický útlum, změna rychlosti šíření světla – vhodné pro plošné měření teploty, a
- nepřímá změna vlastností materiálu na konci optického vlákna – nejčastěji se zde využívá změny odrazu nebo rozptylu světla na odrazné ploše na konci optického kabelu; optický kabel se tedy využívá jen jako vodič světla – vhodné pro bodové místní měření teplot.

8 Srovnání snímačů teploty

Vzhledem k tomu, že na trhu je velká spousta teplotních snímačů, zaměřil jsem se výhradně na přesné snímače pro měření teploty. Následně jsem z nich vybral několik představitelů, které jsou dále podrobněji popsány.

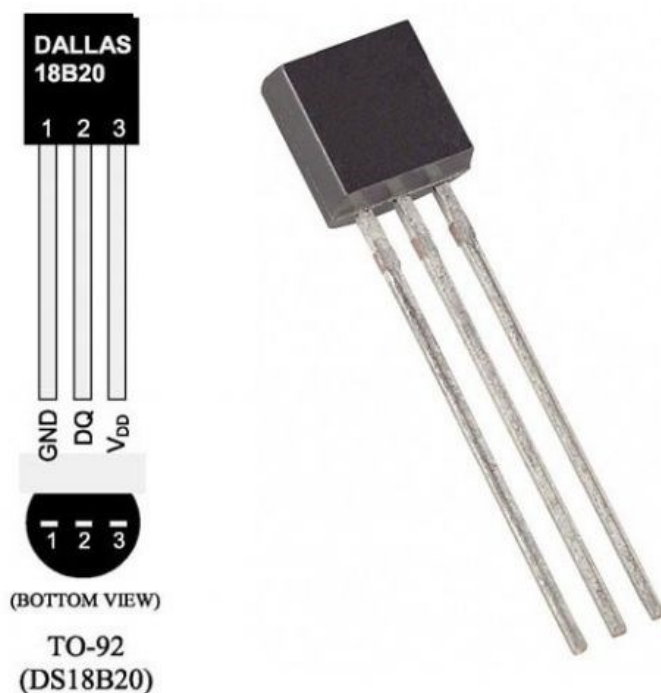
Kritériem pro jejich výběr byla především přesnost a rovněž měřicí rozsah, v němž snímač měří, a také jeho napájecí napětí. Orientoval jsem se jak na snímače s digitálním výstupem, tak také na snímače a analogovým výstupem. Dalším posuzovaným hlediskem byla u těchto snímačů jejich cena.

8.1 Teplotní čidlo DS18B20 výrobce Maxim Integrated

DS18B20 je digitální teplotní čidlo, které využívá pouze jeden pin pro komunikaci, a které také nevyžaduje žádné externí komponenty. Rozlišení čidla je od 9 do 12 bitu. Cena tohoto typu čidla se pohybuje kolem 45 korun. [26]

Základní specifikací čidla Dallas DS18B20 je

- napájení: 3V – 5,5V,
- měřená teplota: -55 °C do +125 °C, a
- přesnost: $\pm 0,5$ °C.



Obrázek 17 – Teplotní čidlo Dallas DS18B20

8.2 Teplotní snímač STS3x výrobce Sensirion AG

Teplotní snímače STS3x jsou řadou velice přesných teplotních snímačů od firmy Sensirion AG. Tyto snímače mají digitální výstup a můžeme je připojit přímo k mikroprocesoru. Jsou velice přesné a také hodně spolehlivé. Každý tento jednotlivý snímač je kalibrován pomocí referenčního senzoru. Mají velmi velký rozsah napájecího napětí od 2,15 V do 5,5 V. Cena těchto snímačů se pohybuje kolem 60 korun.

Na trhu jsou tři verze těchto snímačů. Standartní verzí je typ snímače STS31, poté se vyrábí nízkonákladová verze STS30 a špičkový snímač s největší přesností STS35. [24]

Základní specifikace snímače STS31 je

- napájecí napětí: 2,15 V – 5,5 V,
- měřicí rozsah: -40 °C do +125 °C, a
- přesnost měření: $\pm 0,2$ °C (v rozsahu 0 °C až 90 °C).

Základní specifikace snímače STS30 je

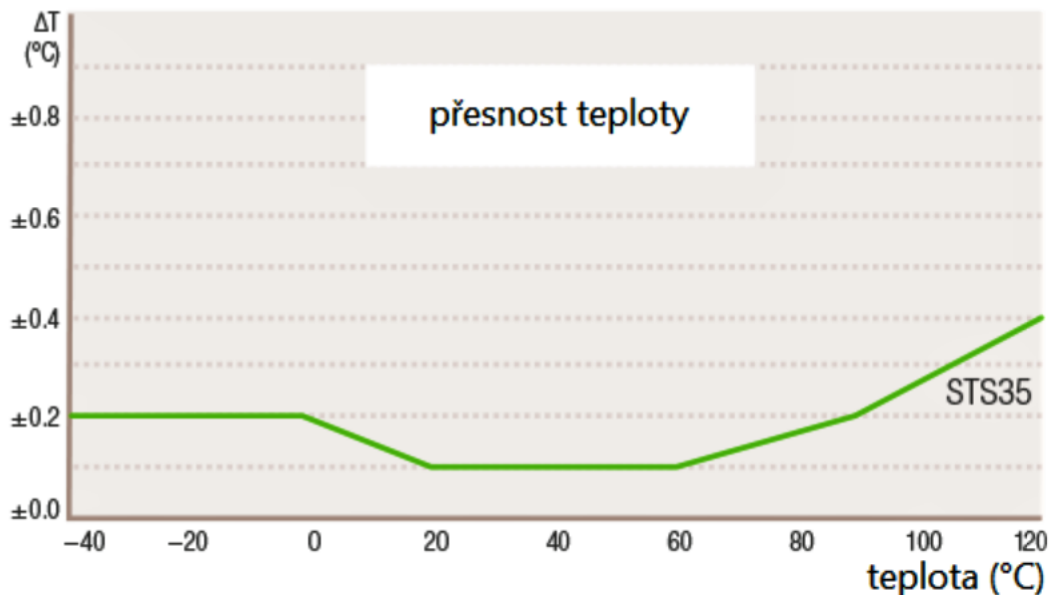
- napájecí napětí: 2,15 V – 5,5 V,
- měřicí rozsah: -40 °C do +125 °C, a
- přesnost měření: $\pm 0,2$ °C (v rozsahu 0 °C až 65 °C).

Základní specifikace snímače STS35 je

- napájecí napětí: 2,15 V – 5,5 V,
- měřicí rozsah: -40 °C do +125 °C, a
- přesnost měření: $\pm 0,1$ °C (v rozsahu 20 °C až 60 °C).



Obrázek 18 – Teplotní snímač STS3x [24]



Obrázek 19 – Přesnost teploty snímače STS35 [24]

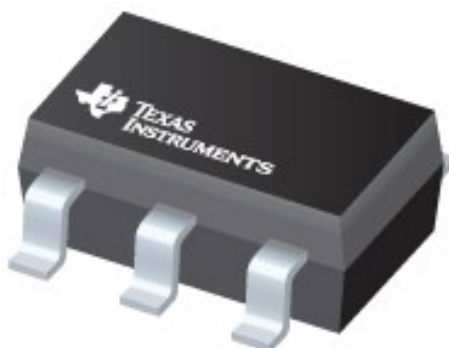
8.3 Teplotní snímač LMT88 výrobce Texas Instruments

LMT88 je přesný teplotní snímač s analogovým výstupem. Je to cenově vhodná alternativa k termistorům. Tento typ teplotního snímače je vhodný pro vzdálené použití.

Snímač LMT88 má velmi velký rozsah napájecího napětí od 2,4 V do 5,5 V. Tento snímač se využívá třeba v automobilovém průmyslu, mobilních telefonech, tiskárnách nebo také v přenosných lékařských nástrojích. Cenově je snímač velmi dostupný, jeho cena se pohybuje kolem 15 korun. [27] [28]

Základní specifikace snímače LMT88 je

- napájecí napětí: 2,4 V – 5,5 V,
- měřicí rozsah: -55 °C do +130 °C,
- přesnost měření: $\pm 1,5$ °C (při teplotě 30 °C), a
- přesnost měření: $\pm 2,5$ °C (v rozsahu -50 °C až 130 °C).



Obrázek 20 – Snímač teploty LMT88 [28]

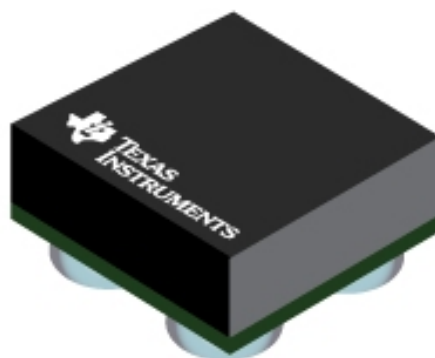
8.4 Teplotní snímač LMT70 od výrobce Texas Instruments

Snímač LMT70 od společnosti Texas Instrument je velmi přesný snímač s analogovým výstupem. Tento typ snímače lze použít pro vzdálená měření. Nízký napájecí proud, typická hodnota je 9,2 μ A.

Tento typ snímače má v celku velký teplotní rozsah a to - 55 °C do + 155 °C. Využití tohoto snímače najdeme třeba u přesným termistoru PTC/NTC, lékařský teploměr nebo lékařské a fitness vybavení. Cena tohoto typu snímače se pohybuje kolem 57 korun. [25]

Základní specifikace snímače LMT70 je

- napájecí napětí: 2 V – 5,5 V,
- měřicí rozsah: -55 °C do +150 °C,
- přesnost měření: $\pm 0,05$ °C (při teplotě 30 °C),
- přesnost měření: $\pm 0,2$ °C (v rozsahu 20 °C až 90 °C),
- přesnost měření: $\pm 0,23$ °C (v rozsahu 90 °C až 110 °C), a
- přesnost měření: $\pm 0,36$ °C (v rozsahu - 55 °C až 150 °C).



Obrázek 21 – Snímač teploty LMT70 [25]

Tabulka 2 – Srovnání vlastností snímačů teploty

Druh snímače	Napájecí napětí [V]	Měřicí rozsah [°C]	Přesnost [°C]
DS18B20	3 – 5,5	- 55 – 125	± 0,5
STS31	2,15 – 5,5	0 – 90	± 0,2
STS30	2,15 – 5,5	0 – 65	± 0,2
STS35	2,15 – 5,5	20 – 60	± 0,1
LMT88	2,4 – 5,5	30	± 1,5
LMT70	2 – 5,5	30	± 0,05

9 Návrh propojení snímače s Arduinem

Pro návrh obvodu ke zpracování výstupního signálu jsem na základě konzultace s vedoucím závěrečné práce zvolil snímač DS18B20. Jedná se o snímač, který je jedním z nejpopulárnějších snímačů na trhu, a který je také v celku přesný. Jeho napájecí napětí se pohybuje v rozmezí 3 až 5.5 V, takže je možno jej použít s Arduinem, který pracuje s napětím 5 V.

Jako procesorový systém jsem proto vybral Arduino Uno, a to z důvodu jeho dostupnosti, jednoduchosti, a rovněž z cenových důvodů. Návrh nebude realizován prakticky, nýbrž pouze simulačně, a to konkrétně v prostředí simulačního programu Proteus. Tento program umožňuje odladit si jak software, tak hardware před vlastní realizací.

9.1 Arduino UNO

V dnešní době se na trhu vyskytuje velmi široká škála open-source stavebnic. Ve světě nicméně zůstává nejrozšířenější platformou Arduino. Arduino využívá zejména procesory firmy Atmel.

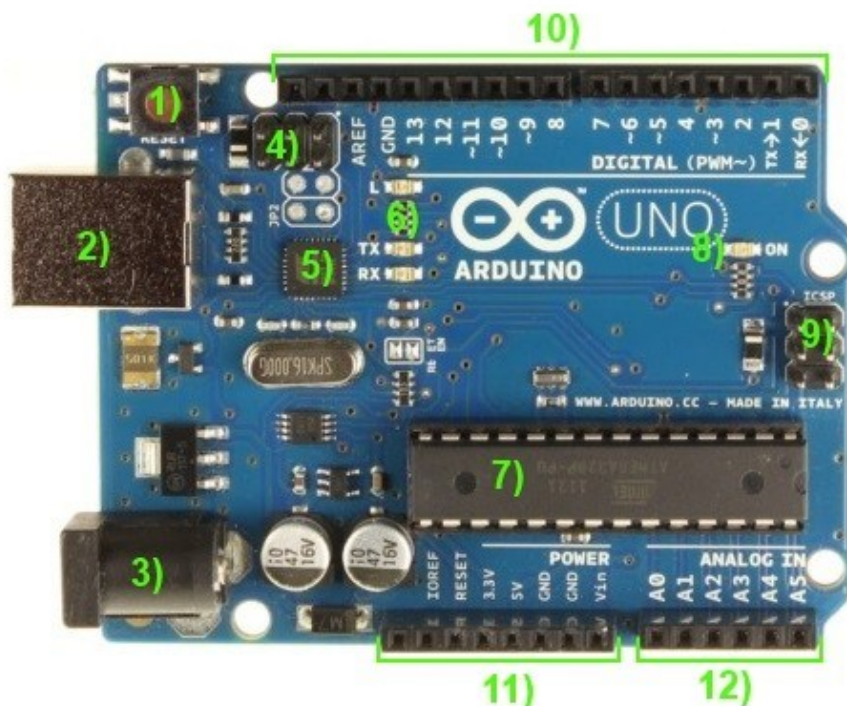
Tento výrobce nabízí několik různých typů desek od méně výkonných a malých modelů po kompletní soustavy osazené USB, HDMI, Ethernet, nebo také dokonce audio porty. Takovým typickým znakem desek Arduino je modrá brava. [29]

Výhodami arduina jsou

- nízká cena,
- jednoduché programování,
- jednoduché zapojení pomocí USB, a
- arduino má rozsáhlou uživatelskou komunitu.

V této práci budu používat Arduino Uno, které je v dnešní době nejčastěji používaným typem desky, protože je cenově dostupné, a které má velmi široký rozsah využití.

Na desce Arduino Uno je procesor ATmega328, klasické USB, a také napájecí port. Arduino Uno má na desce 14 digitální vstupních a výstupních pinů a 6 analogových vstupních pinů. [29]



Obrázek 22 – Arduino UNO [29]

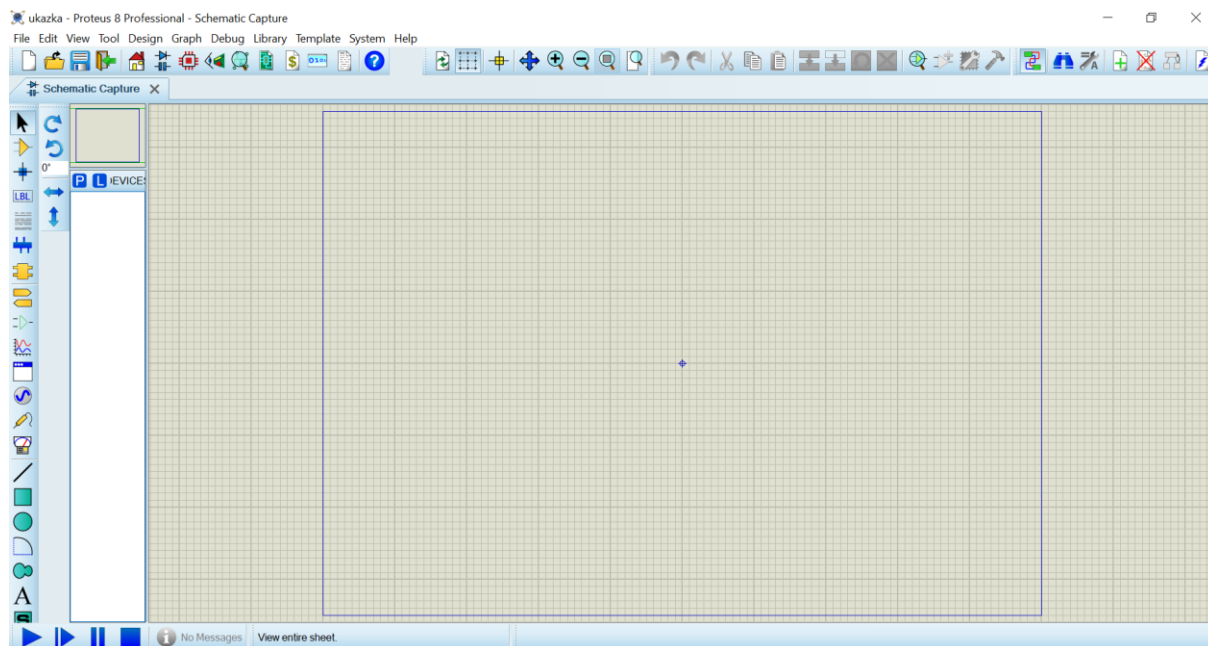
Popis desky

1. resetové tlačítko – to použijeme tehdy, chceme-li náš program pustit od začátku,
2. USB konektor typu B,
3. konektor pro napájení – použijeme ho tehdy, pokud nebudeme desku napájet z USB,
4. ICSP hlavice pro externí programování USB-serial převodníku,
5. USB-serial převodník – tento převodník slouží pro komunikaci mezi hlavním čipem a PC,
6. indikační LED diody L, Rx, a Tx,
7. procesor desky ATmega328,
8. indikační LED dioda – když svítí, tak je připojené napájecí napětí,
9. ICSP hlavice pro externí programování hlavního čipu,
10. digitální piny,
11. převážně napájecí vstupy Arduina, a
12. analogové vstupy.

9.2 Proteus Design Suit

Program Proteus byl vyvinut v Anglii v městě Yorkshire společností Labcenter Electronics Ltd. Proteus je sada softwarových nástrojů, která se využívá zejména v automatizaci. Tento software je používán převážně k vytváření schémat, a také pro elektronický tisk při výrobě desek plošných spojů. Proteus je možno zakoupit v mnoha konfiguracích, a to v závislosti na velikosti vyráběných návrhů a na požadavcích na simulaci mikrokontroleru. Všechny verze Protea obsahují základní simulační schopnosti SPICE ve smíšeném režimu.

Simulace pomocí mikrokontroleru v programu Proteus funguje tak, že na část mikrokontroleru na schématu se použije buď hexadecimální soubor, nebo soubor ladící. Dále je simulován společně s jakoukoli analogovou a digitální elektronikou, ke které je připojen. Díky tomu ho můžeme použít v širokém rozsahu, jako je například řízení motoru, nebo regulace teploty. [30]

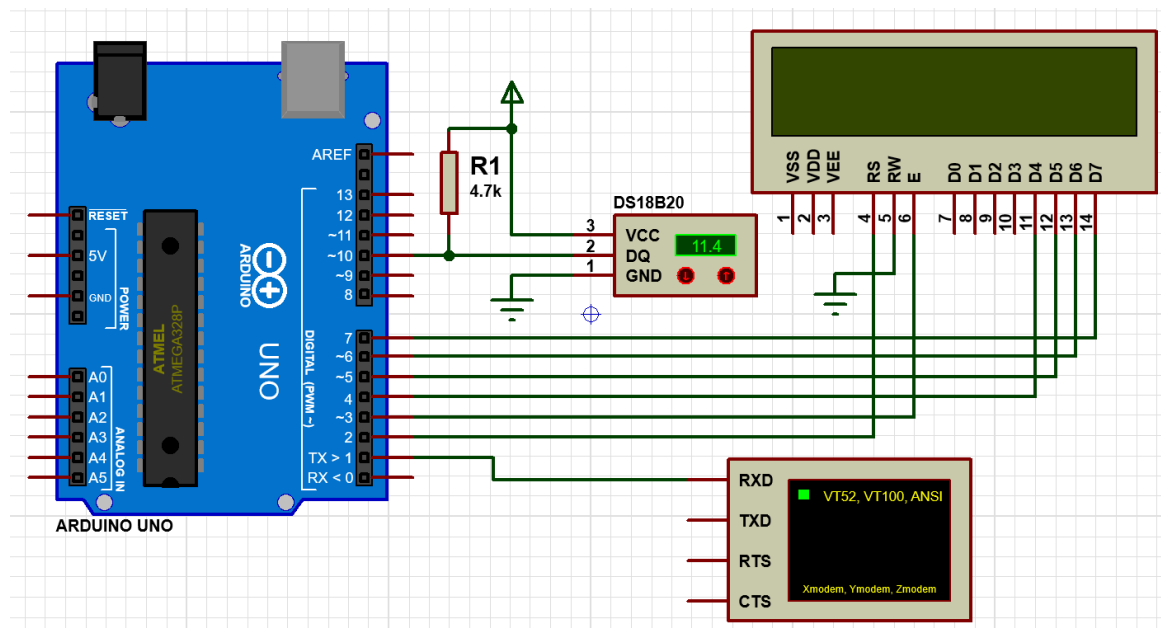


Obrázek 23 – Ukázka simulačního prostředí Proteus

9.3 Realizace simulace

V práci jsem pomocí procesorového systému Arduino Uno a snímače DS18B20 s digitálním výstupem odsimuloval teploměr, kde jsem měřenou hodnotu zobrazoval na LCD displeji, a zároveň posílal na sériový monitor Arduino IDE.

O snímači DS18B20 jsem se již zmínil v předchozí kapitole. Jedná se o snímač s třemi vývody, a sice od společnosti Maxim. Na jednom vývodu je +VCC, na druhém vývodu GND, a třetí vývod je datový. Tím je snímač připojen k Arduino na pin 10, přičemž na datovém vývodu musí být také připojena jedna strana pull-up rezistoru o hodnotě cca 5 k Ω , a to z toho důvodu, abychom ze snímače získávali skutečné hodnoty. Druhá strana odporu je na vývodu +VCC. Na 2 až 7 pinu na Arduino, což jsou piny digitální, jsem připojil LCD displej, na kterém se bude zobrazovat teplota ze snímače. Na pinu číslo jedna, označeném jako TX, je připojen sériový monitor Arduino IDE.



Obrázek 24 – Schéma zapojení v prostředí Protea

Následně jsem si potřeboval naprogramovat desku Arduino, abych na displeji mohl zobrazovat hodnoty. Pomocí programu Arduino jsem tedy napsal kód. Při psaní kódu jsem v první fázi musel nainstalovat knihovny DallasTemperature, One Wire, a knihovnu LiquidCrystal, která slouží pro LCD displej. Dále bylo zapotřebí si knihovny načíst. V další části programu jsem nastavil sériovou komunikaci s přenosovou rychlostí 9600. V nadcházejícím kroku jsem si nastavil počet řádků a sloupců na displeji, a rovněž jsem zajistil, aby se hodnota na displeji zobrazovala ve stupních. Tím pádem jsem následně výsledek ještě podělil 16 a poté zajistil, aby jednotka byla °C. V dalších krocích kódu bylo nezbytné nastavit snímač teploty. Poté jsem ověřil, zda je kód funkční, a uložil jej jako HEX (hexadecimální zdrojový soubor) soubor. Konečně jsem ho v prostředí Protea nahrál na desku Arduino.

Ukázka kódu nahraného do Arduino:

```
#include <LiquidCrystal.h>

#define DS18B20_PIN 10

LiquidCrystal lcd(2, 3, 4, 5, 6, 7);

int raw_temp;
float temp;
char txt[] = " C ";

void setup(void) {

  Serial.begin(9600);

  lcd.begin(16, 2);
  txt[0] = 223;
  lcd.setCursor(2, 0);
  lcd.print("Teplota:");
}
```

```

void loop(void) {
  if(ds18b20_read(&raw_temp)) {
    Serial.print("Temperature = ");
    temp = (float)raw_temp / 16;
    Serial.print(temp);
    Serial.println("°C");

    lcd.setCursor(4, 1);
    lcd.print(temp);
    lcd.print(txt);
  }
  else {
    Serial.println("Communication Error!");
    lcd.setCursor(4, 1);
    lcd.print(" Error! ");
  }
  delay(1000);
}

bool ds18b20_start(){
  bool ret = 0;
  digitalWrite(DS18B20_PIN, LOW);
  pinMode(DS18B20_PIN, OUTPUT);
  delayMicroseconds(500);
  pinMode(DS18B20_PIN, INPUT);
  delayMicroseconds(100);
  if (!digitalRead(DS18B20_PIN)) {
    ret = 1;
    delayMicroseconds(400);
  }
  return(ret);
}

void ds18b20_write_bit(bool value){
  digitalWrite(DS18B20_PIN, LOW);
  pinMode(DS18B20_PIN, OUTPUT);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(DS18B20_PIN, value);
  delayMicroseconds(80);
  pinMode(DS18B20_PIN, INPUT);
  delayMicroseconds(2);
}

void ds18b20_write_byte(byte value){
  byte i;
  for(i = 0; i < 8; i++)
    ds18b20_write_bit(bitRead(value, i));
}

bool ds18b20_read_bit(void) {

```

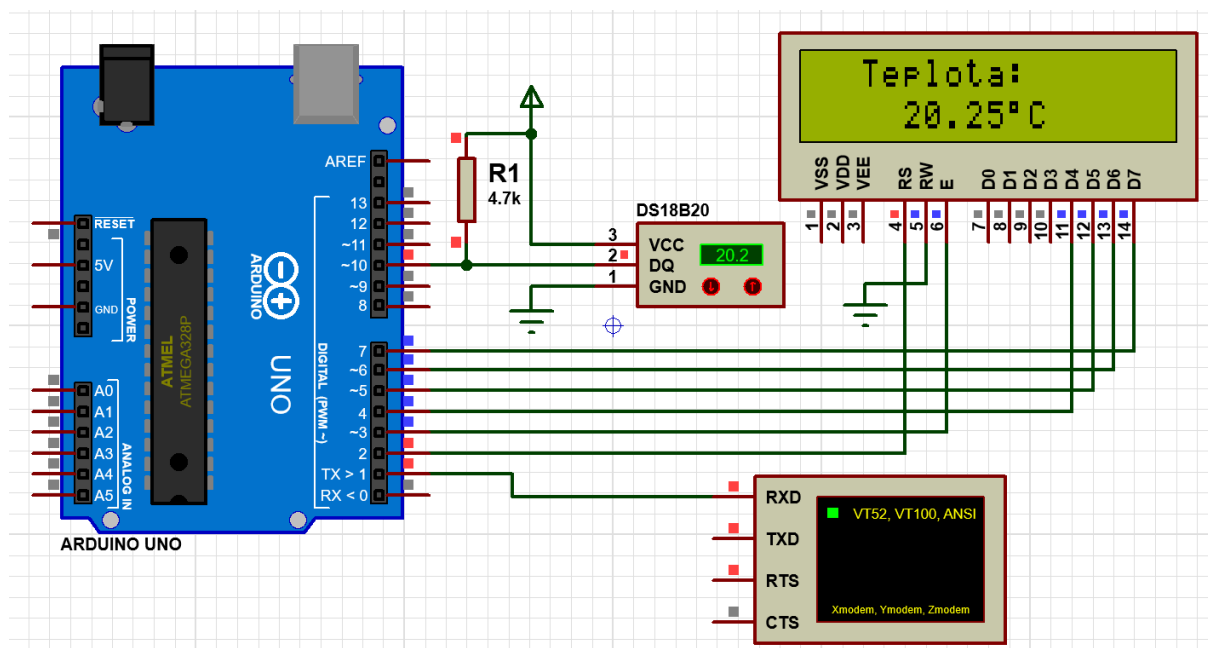
```

    bool value;
    digitalWrite(DS18B20_PIN, LOW);
    pinMode(DS18B20_PIN, OUTPUT);
    delayMicroseconds(2);
    pinMode(DS18B20_PIN, INPUT);
    delayMicroseconds(5);
    value = digitalRead(DS18B20_PIN);
    delayMicroseconds(100);
    return value;
}

byte ds18b20_read_byte(void) {
    byte i, value;
    for(i = 0; i < 8; i++)
        bitWrite(value, i, ds18b20_read_bit());
    return value;
}

bool ds18b20_read(int *raw_temp_value) {
    if (!ds18b20_start())
        return(0);
    ds18b20_write_byte(0xCC);
    ds18b20_write_byte(0x44);
    while(ds18b20_read_byte() == 0);
    if (!ds18b20_start())
        return(0);
    ds18b20_write_byte(0xCC);
    ds18b20_write_byte(0xBE);
    *raw_temp_value = ds18b20_read_byte();
    *raw_temp_value |= (unsigned int)(ds18b20_read_byte() << 8);
    return(1);
}

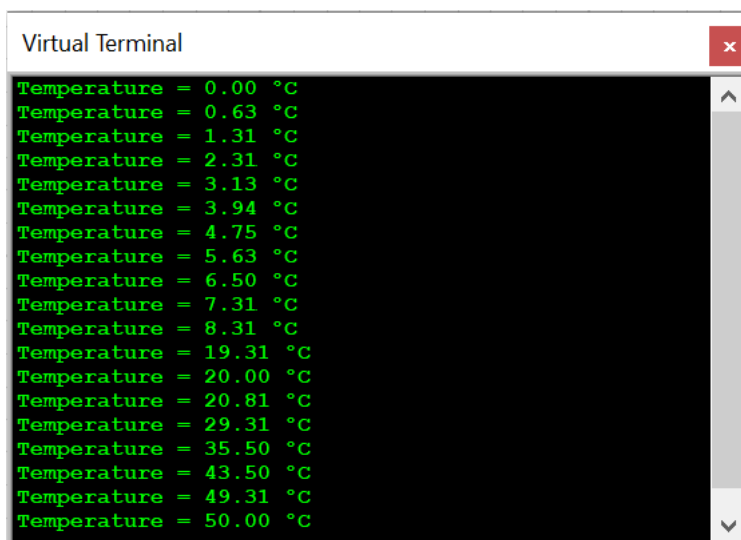
```



Obrázek 25 – Zobrazení teploty na displeji

Po nahrání kódu jsem ověřil, že kód skutečně funguje, a že teplota se zobrazuje na displeji. Měření jsem zkoušel provádět od 0 °C do 50 °C, jelikož jsem nechtěl zacházet do žádných extrémů, jako jsou třeba hodnoty pod hranici 0 °C, či hodnoty vyšší 50 °C.

Na obrázku 26 lze vidět, že na snímači je nastavená hodnota 20.2 °C, a na displeji se zobrazuje hodnota 20.25 °C, což odpovídá přesnosti snímače, která dle výrobce činí ± 0.5 °C.



Obrázek 26 – Ukázka měřených hodnot na sériovém monitoru Arduino IDE

Na obrázku 27 je zobrazen sériový monitor Arduino IDE, na kterém jsou vyobrazeny hodnoty z displeje, a lze si povšimnout, že měření probíhalo od hodnoty 0 °C do hodnoty 50 °C.

10 Závěr

V první části mé bakalářské práce jsem vymezil základní pojmy a provedl jsem teoretický rozbor způsobů měření. Dále byly důkladněji popsány způsoby měření, vysvětlen princip jejich činnosti a vypočteny jejich vlastnosti.

Dalším bodem zadání bylo provést rešerši přesných snímačů, které jsou na trhu k dispozici. Snímače, které se mi podařilo najít jsou shrnuté v tabulce 2.

V tabulce 2 je zobrazen přehled vlastností snímačů. Z tabulky lze vyčíst, že nejpřesnějším snímačem, který se mi podařilo vyhledat je snímač LMT70 od výrobce Texas Instrument. U tohoto typu snímače se udává přesnost $\pm 0,05$ °C při teplotě 30 °C. Tento typ snímače pracuje s analogovým výstupním signálem. Přesně snímače s digitálním výstupem signálu, které se mi podařilo vyhledat jsou snímače řady STS3x od společnosti Sensirion AG. Nejpřesnějším snímačem z této řady je snímač STST35 s přesností $\pm 0,1$. Tento snímač měří v poměrně slušném rozsahu, a to od 20 °C do 60 °C.

Následně v třetím bodu zadání byl zvolen snímač teploty DS18B20 od společnosti Maxim, dříve nazvané společnost Dallas. Tento snímač byl zvolen především z toho důvodu, že je nejpoužívanějším a rovněž nejsnáze dostupným snímačem na trhu. Konečně jako procesorový systém byl zvolen mikrokontroler Arduino Uno.

V posledním bodu zadání mé bakalářské práce bylo mým úkolem navrhnout systém přesného měření teploty se zobrazováním teploty prostřednictvím navrženého procesorového systému. Systém byl navržen v simulačním prostředí Proteus a měření teploty proběhlo v rozsahu od 0 °C do 50 °C a teplota byla zobrazována na LCD displeji.

Použitá literatura:

- [1] Měření. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/M%C4%9B%C5%99en%C3%AD>
- [2] *Teplota a její měření* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: http://artemis.osu.cz:8080/artemis/uploaded/199_3_3%20Teplota_mereni.pdf
- [3] Snímač. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Sn%C3%ADma%C4%8D>
- [4] Snímač teploty. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sn%C3%ADma%C4%8D_teploty
- [5] Měření teploty – kovové odporové senzory teploty. *Vyvoj.hw.cz* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-kovove-odporove-senzory-teploty.html>
- [6] Odporový snímač teploty. *EVROPSKÁ DATABANKA* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://nabidky.edb.cz/Nabidka-43276-Odporovy-snimac-teploty-teplomer-Pt100-Ni1000-Zlinsky-kraj>
- [7] *Polovodičové snímače teploty – termistory* [online]. 2015 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: https://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/53323.pdf
- [8] PTC Termistory. *Farnell AN AVNET COMPANY* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: https://cz.farnell.com/epcos/b59975c0120a070/thermistor-ptc/dp/9753087?gclid=EAlaIqobChMI3uLomsrB7wIVFuR3Ch3QrggJEAQYBCABEgKswfD_BwE&mckv=s8lGnE4x3_dc|pcrid|490629367090|plid||keyword|match||slid||product|9753087|pgrid|109044214458|ptaid|pla-339541591362|&CMP=KNC-GCZ-SHOPPING-Whoop-HI-31-Aug-20&gross_price=true
- [9] Termistory. *RS* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: [https://cz.rs-online.com/web/p/termistory/1857657/?cm_mmc=CZ-PLA-DS3A_-google_-CSS_CZ_CZ_Pasivn%C3%AD_sou%C4%8D%C3%A1sti_Whoop-_\(CZ:Whoop!\)+Termistory_-1857657&matchtype=&pla-318840752386&gclid=EAlaIqobChMI3uLomsrB7wIVFuR3Ch3QrggJEAQYAiABEgJORfD_BwE&gclsrc=a_w.ds](https://cz.rs-online.com/web/p/termistory/1857657/?cm_mmc=CZ-PLA-DS3A_-google_-CSS_CZ_CZ_Pasivn%C3%AD_sou%C4%8D%C3%A1sti_Whoop-_(CZ:Whoop!)+Termistory_-1857657&matchtype=&pla-318840752386&gclid=EAlaIqobChMI3uLomsrB7wIVFuR3Ch3QrggJEAQYAiABEgJORfD_BwE&gclsrc=a_w.ds)
- [10] *Měření teploty* [online]. Brno, 2011 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/17665/final-thesis.pdf?sequence=6>
- [11] Termočlánky. *Jan Klepárník – WEB podpora výuky* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: https://user.mendelu.cz/xklepar0/fls/sn_tcl.htm
- [12] ČASOVÁ KONSTANTA TEPLOMĚŘŮ [online]. Brno, 2016 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=126756
- [13] Princip bezdotykového měření teploty. *Q TEST měřicí a přístrojová technika* [online]. 2009 – 2014 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <http://www.qtest.cz/bezdotykovye-teplomery/bezdotykovye-mereni-teploty.htm>
- [14] Bezdotykové snímače provozních veličin – přednosti a omezení (část 1). *Snímače a měřicí technika* [online]. 2016 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/9184.pdf

- [15] Pyrometr. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Pyrometr>
- [16] *Bezdotykové měření teploty* [online]. Brno, 2011 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/11982/final-thesis.pdf?sequence=6>
- [17] *Bezkontaktní metody měření teploty v ekologickém inženýrství* [online]. Brno, 2010 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=33544
- [18] *MĚŘENÍ TEPLIT* [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/6SM/6SM_mereni-teplot.pdf
- [19] Termografie. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Termografie>
- [20] Co jsou BOLOMETRY a MIKROBOLOMETRY? *Automatizace.hw.cz* [online]. 2005 [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2005111601>
- [21] Termokřída. *SIWECO* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: https://www.siweco.cz/e-shop/svarecky-prislusenstvi_c89/termokridy_c405/termokrida-tempindic-200-st_p93034
- [22] Technologie – měření teploty v pecích. *Propec* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://www.propec.cz/technologie-mereni-teploty-v-pecich>
- [23] Optovláknové snímače teploty pro náročná měření. *Automatizace.hw.cz* [online]. 2006 [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2006032701>
- [24] Temperature Sensor STS3x. *Sensirion the sensor company* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.sensirion.com/environmental-sensors/temperature-sensors/>
- [25] LMT70. *Texas Instrument* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://www.ti.com/product/LMT70>
- [26] Teplotní senzor digitální DALLAS DS18B20. *Drátek.cz* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: https://dratek.cz/arduino/1187-teplotni-senzor-digitalni-dallas-ds18b20.html?gclid=Cj0KCQjwmcWDBhCOARIsALgJ2QcE875YUfOhpGSRGQ0MuxRgAiw5bWArJ4Q8Jf tc4rNbijd2oEdguDkaAgNiEALw_wcB
- [27] *Digi-key* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.digikey.cz/product-detail/cs/texas-instruments/LMT88DCKR/296-38167-1-ND/4967372>
- [28] *Texas Instruments* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.ti.com/product/LMT88>
- [29] PROGRAMUJEME ARDUINO. *Bastlírna* [online]. 2014 [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://bastlirna.hwkitcchen.cz/programujeme-arduino/#main>
- [30] Proteus Design Suite. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Proteus_Design_Suite
- [31] *Analogová linearizace termoelektrického článku* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/01035/index.html>